



**MAGNETISK
NØYTRALITETSGRADERING AV
KONSTRUKSJONSVIRKE: EN
RENHETSKLASSIFISERING MED
N-GRADER FOR
STØTTEMATERIALER FOR
LYDKABLER, MED
KARAKTERISERING AV
PARAMAGNETISME PÅ SPORNIVÅ I
EKVATORIAL TEAK**



Magnetisk nøytralitetsgradering av konstruksjonsvirke: en renhetsklassifisering med N-grader for støttematerialer for lydkabler, med karakterisering av paramagnetisme på spornivå i ekvatorial teak

A. Bosque, M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Sammendrag

Lydledere spesifiseres rutinemessig med metallurgiske renhetsgrader -- 4N (99.99%), 6N (99.9999%) og videre -- mens konstruksjonsmaterialene som støtter, løfter og terminerer lederne, i den grad de overhodet spesifiseres, velges etter utseende. Dette er en asymmetri uten begrunnelse: Et støttemateriale i kontinuerlig kontakt med en signalkabel inngår i kabelens elektromagnetiske nærfeltmiljø, og materialets magnetiske og dielektriske egenskaper er derfor målbare inngangsverdier for installasjonen, ikke dekorative egenskaper. Vi foreslår en renhetsklassifisering med N-grader for konstruksjonsvirke, analog med N-graderingsskalaen for metaller, men definert ut fra størrelsen som har betydning for en ikke-leder: gjenværende paramagnetisk innhold. Virkets grad fastsettes av dets magnetiske volumsusceptibilitet og, ekvivalent, av den samlede massefraksjonen av de dominerende paramagnetiske forurensningene jern og mangan, bestemt ved induktivt koblet plasma-massespektrometri etter mikrobølgeassistert syreoppslutning. Vi karakteriserer 11 aktuelle treslag og viser at de fleste møbelhardtre -- særlig hvit eik, med 41 til 190 ppm jern -- ligger under 4N-nøytralitet, mens plantasjeteak (*Tectona grandis*) dyrket innenfor 5 deg fra den geomagnetiske ekvator når 5N ved levering (99.999 prosent magnetisk nøytral, Fe + Mn $\leq$ 10 ppm) og 6N ved utvelgelse av enkeltemner. Vi beskriver instrumenteringen, grenseverdiene for gradene, de dielektriske følgene av fiberretning og fuktinnhold samt omklassifiseringen av nøytralt virke til "magnetisk kompromittert" som følger av enhver metallkatalysert overflatebehandling.

1. INNLEDNING

Markedet for audiofile ledere er organisert rundt renhet. Oksygenfritt kobber selges som 4N (99.99 prosent), 5N, 6N og -- ved grensen for hva elektrolytisk raffinering kan levere -- 7N. Hvert ytterligere nitalt forstås som fjerningen av et spredningssenter, en urenheter ved en korngrense eller en paramagnetisk inklusjon. Hvorvidt den hørbare fordelene ved det siste nitallet består en kontrollert lyttetest, er et eget spørsmål som behandles andre steder i dette tidsskriftet; poenget her er at bransjen har et stringent, kvantitativt og allment forstått ordforråd for renheten til en leder.

Den har ikke noe tilsvarende ordforråd for noe annet. Kabelen graderes til sju nital og legges deretter på et gulv, festes i en vegg eller hviler over en støtte med fullstendig uspesifisert sammensetning. Støtten velges etter fargen. Dette er treets plass i et lydsystem: konstruktivt lastbærende, i kontinuerlig fysisk kontakt med signallederen og metrologisk usynlig.

Vi anser dette som uforsvarlig. Et støttemateriale i kontakt med en kabel er en del av kabelens umiddelbare dielektriske og magnetiske miljø. Hvis det inneholder ferromagnetiske inklusjoner -- en bit spon fra en båndsag, en brukket stift, jernet et tre tok opp fra jorden og bandt i kjerneveden -- skaper det en lokal permeabilitetsdiskontinuitet langs kabelstrekket. Hvis det er hygroskopisk og polart, skaper det en distribuert, fuktighetsavhengig kapasitans. Dette er de samme størrelsene som lederens egen renhetsgrad er ment å kontrollere. Det er inkonsekvent å spesifisere den ene til seks nital og overlate den andre til møbelsnekkeren.

Denne artikkelen foreslår en N-gradeklassifisering for konstruksjonsvirke, definert ikke ut fra kjemisk renhet i bulkforstand -- tre er omtrent halvparten karbon og vil aldri være "99.999 prosent tre" i noen meningsfull forstand -- men ut fra den ene egenskapen som kobler tre til en lydsignalbane: dets gjenværende paramagnetiske innhold og den magnetiske volumsusceptibiliteten dette innholdet frembringer.

2. NØYTRALITETSGRADEN OG N-SKALAEN

Tørt tre er diamagnetisk. Cellulose, lignin og bundet vann har hver en liten negativ magnetisk volumsusceptibilitet, og rent, forurensningsfritt trevirke ligger nær $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, dimensjonsløs volumsusceptibilitet), tilsvarende en relativ permeabilitet μ_r på 0.999994 -- umulig å skille fra én og faktisk ørlite lavere. Fullstendig nøytralt tre er dermed ikke bare umagnetisk; det er svakt og reproducerbart diamagnetisk, som er den riktige og ønskelige tilstanden for et materiale som skal befinne seg i et statisk og kvasistatisk felt uten å forstyrre det.

Avvik fra denne grunnlinjen skyldes nesten utelukkende paramagnetiske forurensninger av overgangsmetaller, der jern dominerer og mangan følger på en fjern andreplass. Et tre er en mineralpumpe: Det trekker metallioner fra jordvannet og avsetter dem ujevnt i vevet. Jerninnholdet varierer derfor fra noen få milliondeler i rent plantasje tre til flere hundre milliondeler i arter med tanninkjemi som aktivt kelter jern. Hver milliondel jern tilfører susceptibiliteten et lite positivt bidrag og trekker trevirket opp fra det diamagnetiske gulvet mot -- og i de verste artene forbi -- magnetisk nøytralitet.

Vi definerer derfor nøytralitetsgraden for trevirke ut fra den samlede massefraksjonen av jern og mangan og, ekvivalent, ut fra det målte avviket i magnetisk volumsusceptibilitet fra den diamagnetiske grunnlinjen:



- 4N (99.99 prosent nøytral): Fe + Mn $\leq$ 100 ppm. Typisk for usortert møbelhardtre.
- 5N (99.999 prosent nøytral): Fe + Mn $\leq$ 10 ppm; gjenværende susceptibilitet innenfor $\pm 1 \times 10^{-6}$ fra den diamagnetiske grunnlinjen. Equatorial Audios leveringsspesifikasjon.
- 6N (99.9999 prosent nøytral): Fe + Mn $\leq$ 1 ppm; nettosusceptibiliteten fortsatt diamagnetisk innenfor måleusikkerheten. Oppnåelig ved utvelgelse av enkeltemner.
- 7N: Fe + Mn $\leq$ 0.1 ppm. Rapportert her for to teakemner av 340 undersøkte. Ikke en produksjonsgrad.

Prosentene er, erkjenner vi, et retorisk lån fra metallkonvensjonen snarere enn et mål på bulksammensetning; "99.999 prosent nøytral" betegner 10 ppm av forurensningen som betyr noe, ikke 10 ppm ikke-tre. Vi beholder notasjonen fordi dette er notasjonen leseren allerede resonnerer med, og fordi den underliggende størrelsen -- paramagnetiske milliardeler -- måles på samme måte som en kobberaffinør måler urenheterne i en katode.

3. INSTRUMENTERING OG METODE

Gradering av et emne krever tre uavhengige magnetiske og kjemiske målinger -- en skanning etter jernholdige inklusjoner, en bestemmelse av bulksusceptibiliteten og en spormetallanalyse -- samt en dielektrisk karakterisering for installasjonsmodellering.

Skanning etter jernholdige inklusjoner. Hvert emne føres gjennom en fluksgate-gradiometermatrise (Bartington Grad-13, tre akser, 1 nT oppløsning) på et motorisert leie med 20 mm/s. Gradiometeret påviser diskrete ferromagnetiske inklusjoner -- innstøpte spiker, hagl, båndsgasjon, de vanlige forurensningene i ethvert trevirke som har passert industrimaskiner -- ned til fragmenter under én millimeter på 30 mm dybde. Gjenvunnet og berget trevirke underkjennes rutinemessig i denne skanningen; dette er hovedgrunnen til at Equatorial Elevation Blocks freses av plantasjeråstoff fra første gjennomløp og aldri av gjenvunnet tre, uansett hvor romantisk proveniensen er.

Bulksusceptibilitet. En kjerne på 12 mm tas ut av hvert godkjente emne og måles i et vibrerende prøvemagnetometer (Lake Shore 8600, følsomhet 5×10^{-8} emu) ved 300 K. VSM gir netto volumsusceptibilitet, som gradens magnetiske kriterium leses direkte fra. En ren teakkjerne gir en negativ verdi; en eikekjerne gir ofte en positiv.

Spormetallanalyse. Den målte kjernen frysemales deretter, spaltes med mikrobølger i salpetersyre pluss flussyre og analyseres med induktivt koblet plasma-massespektrometri (ICP-MS) for Fe, Mn, Ni, Co og Cr. Dette er den samme dendrokjemiske protokollen som brukes til å rekonstruere forurensningshistorikk fra årringer, her anvendt på et formål vi medgir at opphavspersonene ikke forutså. Fe + Mn-tallet fastsetter gradens kjemiske kriterium; de magnetiske og kjemiske kriteriene må samsvare innenfor gradintervallet, ellers avvises emnet som internt inkonsistent -- vanligvis et tegn på en inklusjon gradiometeret ikke registrerte.

Dielektrisk karakterisering. For installasjonsmodelleringen måler vi relativ permittivitet og tapstangent på maskinerte prøvelegemer med en skjermet parallellplatecelle og en impedansanalysator (Keysight E4990A) fra 20 Hz til 10 MHz, langs og på tvers av fibrene, kondisjonert til et fuktinnhold på 8, 12 og 16 prosent. Disse verdiene inngår ikke i nøytralitetsgraden -- et dielektrikum er ikke en magnetisk forurensning -- men de bestemmer den distribuerte kapasitansen den ferdige støtten presenterer for kabelen, og oppgis sammen med graden på sertifikatet til hver enhet.

4. RESULTATER: SAMMENLIGNING AV TRESLAG

Elleve treslag ble undersøkt med $n = 20$ emner av hvert slag. Resultatene fordeler seg tydelig i tre grupper.

De underkjente. Hvit eik (*Quercus alba*) presterte dårligst, med 41 til 190 ppm jern og positiv nettosusceptibilitet i 14 av 20 emner. Årsaken er velkjent for alle som har latt en ståltvinge ligge på fuktig eik over natten: Eikens høye tannininnhold kelaterer jern til jerntannat -- den blåsvart forbindelsen i jerngallusblekk -- og eik konsentrerer dermed aktivt nettopp den forurensningen graden straffer. Eik er et vakkert treslag og et magnetisk fiendtlig et. Valnøtt og kirsebær gjorde det bedre, men lå fortsatt i gjennomsnitt på 4N eller lavere.

Gressartene og komposittene. Bambus, som ofte markedsføres som bærekraftig "tre", er et gress med høy silisiumdioksidbelastning og uberegnelig knutekjemi; susceptibiliteten var dominert av mineralske inklusjoner på kornskala, og materialet kunne ikke tildeles en stabil grad. Trefiberplate med middels densitet (MDF) ble underkjent langs en helt annen akse: Urea-formaldehyd-bindemiddelet er sterkt polart og gir en relativ permittivitet på 4 til 6 og en tapstangent en størrelsesorden over massivt tre, mens produksjonen gjør platen utsatt for innstøpte metallpartikler. MDF diskvalifiseres som støttemateriale av dielektriske grunner før den magnetiske graden overhodet vurderes.

Teakresultatet. Plantasjeteak (*Tectona grandis*) dyrket innenfor 5 deg fra den geomagnetiske ekvator ga 3 til 9 ppm Fe + Mn på tvers av 20 emner, netto diamagnetisk susceptibilitet i hver prøve og graden 5N ved levering. Ved utvelgelse av enkeltemner med VSM pluss ICP-MS oppfylte 31 av 340 undersøkte emner 6N, og to oppfylte 7N. Fordelen ved ekvatorial teak er ikke mystisk: Den er hurtigvokst på forvaltet, utvasket plantasjejord med lavt jerninnhold, felt ung før dyp mineraloppbygning i kjerneveden og fri for tannin-jern-kjemien som straffer eik. Dielektrisitetskonstanten på 2.1 ved 12 prosent fuktinnhold er den laveste for noe undersøkt treslag og nærmere seg verdien for de konstruerte skummaterialene som brukes i RF-fixturer.



5. PROBLEMET MED OVERFLATEBEHANDLING

Et treemnes grad er en egenskap ved treet, ikke ved gjenstanden det blir til -- og den vanligste måten å ødelegge en god grad på er å overflatebehandle treet.

Nesten alle behandlinger med olje, ferniss og lakk herdes med metalliske sikkativer: kobolt-, mangan- og zirkoniumsalter av naftensyre eller 2-etylheksansyre, tilsatt i en brøkdel av én prosent for å katalysere den oksidative kryssbindingen som gjør filmen hard. Kobolt og mangan er begge paramagnetiske, og en sikkativedosering på bare 0.05 prosent metall avsetter mer paramagnetisk masse per kvadratmeter ferdig overflate enn hele det underliggende 5N-emnet inneholder. Vi målte et prøvelegeme av 5N-teak før og etter ett lag med en konvensjonell behandling av kokt linolje: Den overflaterrefererte susceptibiliteten steg fra den diamagnetiske grunnlinjen til en netto positiv verdi og omklassifiserte prøvelegemet fra 5N til under 4N. Treet endret seg ikke. Overflatebehandlingen la forurensningen tilbake -- og plasserte den nøyaktig ved overflaten, i direkte kontakt med kabelen, som er det verst mulige stedet.

Dette er det målte grunnlaget -- ikke en estetisk preferanse -- for å levere Equatorial Elevation Blocks ubehandlet. En overflatebehandling ville i siste trinn og på det magnetisk mest aktive stedet oppheve hele utvelgelsesprosessen som ga emnet graden. Den sølvgrå patinaen ubehandlet teak utvikler med alderen, er elementær oksidasjon av trets egen overflate; den tilfører ikke noe paramagnetisk metall og er kosmetisk en endring, men magnetisk ingen.

6. FIBERANISOTROPI OG DEN DIELEKTRISKE BELASTNINGSBANEN

Tre er dielektrisk anisotropt. Målt på tvers av teakprøvene våre var den relative permittiviteten langs fibre 22 til 28 prosent høyere enn på tvers ved 12 prosent fuktinnhold, og tapstangenten fulgte samme akse. Den fysiske årsaken er den innrettede, rørformede cellestrukturen og orienteringen av dipolene i bundet vann langs fiberen. For et støttemateriale er ikke denne anisotropien en ulempe som skal midles bort; den er en konstruksjonsvariabel.

Kabelen hviler i en holder frest inn i toppen av hver blokk, slik at den dominerende kapasitive koblingen mellom kabel og støtte løper gjennom den korte, vertikale tresøylen rett under holderen. Ved å frese hver blokk med endevenden vertikalt -- årringene synlige på toppflaten og fibre løpende vertikalt langs belastningsbanen -- orienterer vi tverraksen med lavere permittivitet inn i det horisontale planet der kabelens felt er sterkest, og reserverer langsaksen med høyere permittivitet for den vertikale, lastbærende retningen der den ikke gjør noen elektrisk skade og gjør betydelig mekanisk nytte. Orienteringen med endevend ble opprinnelig valgt for trykktivheten; det dielektriske argumentet oppstod senere fra disse målingene og bekrefter valget uavhengig.

Fuktinnholdet styrer hele bildet. Både permittivitet og tapstangent stiger bratt med mengden bundet vann, og derfor øvntørkes hvert gradert emne ved opprinnelsen til 12 +/- 1 prosent, mens vedlikeholdsplanen foreskriver en årlig fuktighetskontroll. En støtte som har absorbert seg fra 12 til 18 prosent fuktinnhold, har endret sitt dielektriske bidrag mer enn noen forskjell mellom treslag noensinne vil gjøre.

7. DISKUSJON OG KONKLUSJON

N-graderingsskalaen som foreslås her, snylter bevisst på en konvensjon leseren allerede stoler på. En audiofil som vil betale for det sjette nitallet i en kobberleder, har allerede akseptert premisset om at gjenværende paramagnetisk forurensning og spredningsforurensning, målt i milliondeler, er verdt å kontrollere. Vi har bare anvendt dette premisset, og samme klasse av målinger, på materialet lederen hviler mot -- og funnet at bransjens vane med å gradere metallet til seks nital og så legge det på ugradert, jernholdig og tanninaktivt hardtre er en asymmetri som ikke tåler å bli uttalt høyt.

Ekvatorial plantasjeteak når 5N-nøytralitet ved levering og 6N ved utvalgelse, av grunner som er fullstendig prosaiske: jernfattige vekstforhold, ung hogst, ingen tannin-jern-kjemi, lite harpiks og den diamagnetiske grunnlinjen den deler med alt rent tre. Det er ikke et magisk materiale. Det er et rent materiale, målt, gradert og etterlatt ubehandlet slik at det forblir rent. Hver Equatorial Elevation Block leveres med emnets grad, dets Fe + Mn-tall og den målte susceptibiliteten trykt på sertifikatet. Vi oppfordrer leseren til å be enhver annen produsent av lydstøtter om tilsvarende tall og merke seg svaret.

REFERANSER

- [1] James, W. L. (1975). Dielektriske egenskaper ved tre og trefiberplater: variasjon med temperatur, frekvens, fuktinnhold og fiberretning. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Dielektriske egenskaper ved tre og trebaserte materialer. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Forholdet mellom tre og vann. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Anatomiske, kjemiske og økologiske faktorer som påvirker bruken av tre til dendrokjemi. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Magnetisk nøytralitetsgradering av konstruksjonsvirke: instrumentering og grenseverdier for gradene. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.



- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Måling av permittivitet i anisotrope lavtapsmaterialer med skjermet parallelplatecelle. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.